第 38 卷第 5 期 2018 年 3 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.38,No.5 Mar.,2018

DOI: 10.5846/stxb201701220183
刘菁华,李伟峰,周伟奇,韩立建,钱雨果.京津冀城市群扩张模式对区域生态安全的影响预测.生态学报,2018,38(5):1650-1660.
Liu J H, Li W F, Zhou W Q, Han L J, Qian Y G.Prediction of expansion pattern and impact on regional ecological security of Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region.Acta Ecologica Sinica,2018,38(5):1650-1660.

京津冀城市群扩张模式对区域生态安全的影响预测

刘菁华[1,2],李伟峰[1,*],周伟奇[1],韩立建[1],钱雨果[1]
1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085
2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:当前,城市群是推动我国区域发展的增长极,但其快速的扩张模式对区域生态系统安全的胁迫影响越来越大,已经成为制约城市可持续发展的重要问题,科学地预测城市群未来扩张对区域生态安全格局的影响对区域协同发展的战略实施具有指导意义。以我国最具影响力的京津冀城市群为例,结合空间模型模拟方法及生态系统服务功能评估方法,预测了基于当前京津冀城市群的扩张模式对区域生物多样性保护、防风固沙功能、土壤保持功能与水源涵养等重要生态服务功能的胁迫影响。结果表明:(1)京津冀城市群发展速度较快,但存在区域发展不均衡,呈两极化的发展特征;(2)京津冀城市群具有重要级以上的生态服务功能占区域总面积的三分之一,其中同时包含两种及以上服务功能的地区将近一半,且其空间分布也很不均衡;(3)应用 CLUE-S 模型可以较好地模拟京津冀城市群未来的扩张格局,模型的 Kappa 指数为 0.84。至 2020 年,预测京津冀城市群将增加 3630.24km^{2}建设用地面积,而其中约六分之一的新增人工表面侵占具有重要及以上生态服务功能的区域,防风固沙和水源涵养为主要被侵占功能,这些区域集中分布在北京、天津与唐山等核心发展城市;(4)京津冀城市群不均衡的区域扩展模式不仅会进一步加剧不同地区间城市化水平的差距,对区域重要生态系统服务功能的潜在胁迫影响也将会增加。本研究结果可为京津冀城市群协同发展规划与区域生态安全格局保障方案的制定提供科学支撑。
关键词:京津冀城市群;均衡发展;生态安全格局;扩张模式预测

Prediction of expansion pattern and impact on regional ecological security of Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region

LIU Jinghua[1,2], LI Weifeng[1,*], ZHOU Weiqi[1], HAN Lijian[1], QIAN Yuguo[1]
1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*
2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

Abstract: Rapid urbanization is a growing threat to the eco-environment, and it has seriously restricted the regional social and economic development. Moreover, it has negative effects on the Regional Pattern for Ecological Security (RPES). We studied the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region (BTH), which is one of the most typical agglomerations in China, as a case example to determine the influence of the increasingly changing regional landscape pattern on the future of the RPES. Therefore, we used land-use change to represent the urbanization process, and the distribution of ecosystem services to represent the RPES. It is our hope that this study would provide scientific evidence to support optimizing future regional planning and management. The results were as follows. (1) There was a marked change in the landscape patterns in the BTH, which was faced with the problem of imbalanced development. (2) The area of high and very high ecosystem services accounted for one-third of the total area of the BTH, including nearly half that contained more than two services. (3) The

基金项目:国家自然科学基金(41590841);中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDB-SSW-DQC034)
收稿日期:2017-01-22; **修订日期**:2017-05-03
*通讯作者 Corresponding author.E-mail: li.wf@rcees.ac.cn

CLUE-S model was robust in its applicability for simulating the land-use dynamic changes of the BTH, and the kappa index was 0.84. The ecosystem services occupied by the artificial surface accounted for one-sixth of the new increased artificial surface, and the main occupied services were sandstorm prevention and water retention. Furthermore, the occupation mainly occurred in growing cities such as Beijing, Tianjin, and Tangshan. (4) The imbalanced development of the BTH would not only enhance the gap between different cities but would also increase the potential threats to the pattern of regional ecological security. Therefore, the ecosystem services that would restrict the urban expansion should be considered, and this would facilitate the protective strategies for the RPES and future coordinated development of the BTH.

Key Words: Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region; balanced development; ecological security pattern; expansion prediction

当前,城市群作为我国城市化的主体形态,在推进社会经济快速发展的同时,也带来了一系列生态环境问题,如资源短缺、环境污染、生态系统退化及生态系统服务功能下降等问题,已经成为城市生态学与地学等相关学科,以及国家与地方规划、管理部门关注的热点和焦点。例如,京津冀作为我国最重要的城市群之一,面临着社会经济发展与生态环境保护之间的突出矛盾,城市之间的发展十分不均衡、水资源短缺、严重的雾霾等问题[1-4]。2015 年 4 月国家发布的《京津冀协同发展规划纲要》明确指出,如何平衡社会、经济发展和生态环境保护之间的矛盾是实现京津冀协同发展规划的关键问题。因此,科学地预测京津冀城市群未来的发展模式,并探讨其对区域生态安全格局的潜在影响,对制定区域发展规划与国土空间优化方案具有切实的指导意义。

构建生态安全格局被认为是实现区域和城市生态安全的基本保障和重要途径[5-6],而生态系统服务作为联系人地关系的重要桥梁,对保障生态安全格局具有重要的意义[7]。生态系统服务功能概念自 1970 年提出以来[8],受到国内外生态学家、经济学家和政策制定者的广泛重视,尤其是 2001—2005 年实施的联合国千年生态系统评估(MA)计划,对生态系统服务功能的研究产生了深远影响[9]。随着研究的不断深入,生态系统服务功能的内涵也越来越明晰,并发展了多种定量评价的方法,包括物质量和价值量的评价方法[10]。目前,国内外关于城市化区域生态系统服务的研究主要集中在生态服务功能的价值分类、定量评价等方面[11]。例如,欧阳志云等对我国陆地生态系统的服务功能价值进行研究,换算得到生态系统的经济价值[12];谢高地等采用 Costanza 的方法对我国自然草地生态系统服务价值进行评估[13];余新晓等采用替代工程法以及市场价值法评估了北京市山区森林生态系统的服务价值[14]。这些研究的开展为揭示城市发展对生态服务功能的影响原因与机制奠定了基础。如今,有关城市扩张对生态服务功能的影响研究较少,且由于生态系统服务的真实价值并没有被纳入到经济决策和土地规划中,使得土地利用变化往往造成生态系统服务功能的退化与丧失[9],从而影响区域可持续发展及生态安全格局。已有研究表明,基于生态服务功能的土地利用规划可以显著减少土地开发的环境成本[15]。准确地模拟预测城市扩张趋势,并探讨其对生态服务功能的影响,可以为调控区域与城市未来协调发展提供更有针对性的科学依据。

本文以我国经济发展格局中最具活力和潜力的京津冀城市群为实证案例,针对该区域生态服务功能重要性的空间分布特征,应用模型模拟的方法,模拟京津冀城市群未来的扩张趋势,探讨其对区域重要及以上生态系统服务功能区的影响与侵占。研究主要关注于两个方面:一方面,应用生态系统服务功能评估方法,定量分析京津冀城市群生物多样性保护、防风固沙功能、土壤保持功能与水源涵养生态服务功能的空间分布,从而量化区域内生态安全格局;另一方面,应用空间显性 CLUE-S 模型,模拟预测京津冀城市群未来的城市扩张趋势及格局,并探讨其对区域生态服务功能的影响,并对京津冀城市群不同城市的生态安全保障与城市扩张模式提出对策建议。

1 研究方法

1.1 研究区概况

京津冀城市群位于华北平原北部,地处环渤海核心地带,地势西北较高、东南平坦,地貌以平原为主,沿渤海岸多滩涂、湿地,生态系统类型多样。京津冀城市群包括北京、天津两大直辖市以及河北省的石家庄、唐山、保定、廊坊、张家口、承德、秦皇岛、沧州、衡水、邢台与邯郸 11 个地级市(图 1),交通纵横便利,具有明显区位优势。截止 2014 年,作为我国最具影响力的城市群之一,京津冀以仅占全国 2.3%的土地面积和全国 8.1%的总人口,创造了全国 10.5%的生产总值,其中,北京和天津等中心城市的城镇化率分别高达 86.4%和 82.3%,高于全国平均水平 54.8%(数据来源:北京市统计局)。然而,在社会经济迅速发展的同时,高强度的城市扩张也对京津冀原本脆弱的生态环境造成了巨大压力,例如,水资源短缺、严重的雾霾等问题已成为制约区域可持续发展的重要限制因素。一些地区的生态服务功能明显下降,例如,西部太行山、燕山土壤侵蚀和坝上高原荒漠化加剧,平原洼淀萎缩及消失,以及地面沉降加剧[15]。2016 年 2 月,全国第一个跨省市的区域“十三五”规划印发实施,明确了京津冀地区未来五年的发展目标,提出到 2020 年,京津冀地区的整体实力将进一步提升,在经济保持中高速发展的同时,使生态环境质量得到明显改善。

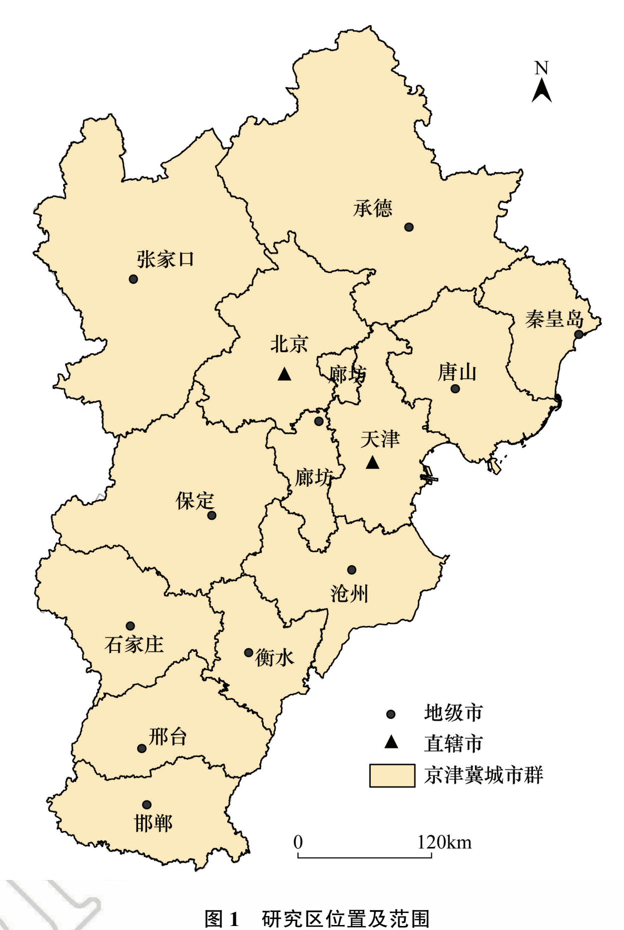


图 1 研究区位置及范围

Fig.1 Location and range of the study area

1.2 生态系统服务功能评价方法

已有研究表明,生物多样性、防风固沙、土壤保持和水源涵养这四种生态服务功能对区域的生态安全具有重要影响。例如,京津冀区域水资源过度开采,调蓄能力降低[16];土壤侵蚀面积大,水土流失造成的土地退化现象降低土地生产力,并严重制约地区经济发展[17-18];长期以来,京津冀地区饱受风沙危害,尤其是冬春季节频发的沙尘天气严重威胁区域空气质量和人民生活[19];防风固沙区域生物多样性丧失的速度将直接影响生态系统服务功能丧失的快慢[20-21],而京津冀区域内的城市扩张及开发活动导致自然生境面积不断缩小,生境碎片化问题突出,将制约区域未来发展[22]。因此,本研究对京津冀区域生物多样性、防风固沙、土壤保持与水源涵养等 4 种生态服务功能的综合重要性进行了分析,评估方法用环境保护部与中国科学院“全国生态环境十年变化(2000—2010 年)调查评估”中应用的区域生态系统服务的定量评价方法与结果[23-25]。

1.2.1 生物多样性功能

多种多样的生态系统不仅为各类生物物种提供栖息繁衍的场所,还为生物进化及生物多样性的形成提供了条件,从而提高不同物种对气候因子的扰动和化学环境变化的抵抗能力[12]。生物多样性作为群落的可测性指标,反映了生态系统的基本特征,是生态系统各物种通过竞争或协调资源共存的结果[26-27],为生态系统功能的维持和运行提供了种源基础和支撑条件[26-29],主要受当地土壤水分条件、生物量等因素的影响[30]。本文所指的生物多样性功能利用基于县域的特有、濒危以及国家保护物种所在栖息地总面积来表示,在全国层面,共计选取了 2820 种物种作为生物多样性指标,再将不同珍稀物种设置三级保护目标,例如式(1)简化概念模型指定栖息地分布图。

$$pH_i = C_i IH \tag{1}$$

式中,pH_i表明多边形 i 是否是潜在的物种栖息地;C_i指的县域 i 内指示物种的历史分布记录;I 指的物种所处的适宜海拔、坡度及坡向的叠加;H 为指示物种的适宜栖息地。利用 MARXAN 软件,通过计算不可替代性指数来衡最终量每个分析单元中生物多样性保护价值。

1.2.2　防风固沙功能

防风固沙服务功能是我国北方地区生态系统的主要服务功能之一,主要受植被覆盖度、当地气候因子(风、土壤湿度)、土壤可蚀性等的影响[31]。针对京津冀城市群区域气候条件、土壤可蚀性、土壤结皮、地表粗糙度以及植被覆盖特征,运用修正风蚀方程(RWEQ. Revised Wind Erosion Equation)来估算沙土损失量。修正风蚀方程结合了经验和过程建模,并已经过大量野地试验所验证,如式(2—4)所示。

$$Q_{max} = 109.8[WF \times EF \times \mathrm{SCF} \times K' \times C] \tag{2}$$

$$S = 150.71 \cdot (WF \times EF \times \mathrm{SCF} \times K' \times C)^{-0.3711} \tag{3}$$

$$S_L = \frac{2 \cdot z}{S^2} Q_{max} \cdot e^{-\left(\frac{z}{s}\right)^2} \tag{4}$$

式中,Q_{max}为最大转移量(kg/m),S 为关键地块长度(m),z 为最大风蚀出现距离(m),S_L(kg/m^2)为风力侵蚀量,WF(Wind factor)为气候因子(kg/m),EF(Erosion factor)为土壤侵蚀因子,SCF(Soil crust factor)为土壤结皮因子,K'为地表粗糙度因子,C 为植被覆盖因子。

1.2.3　土壤保持功能

土壤保持是生态系统所提供的重要调节服务功能之一,受当地植被覆盖度、气候条件、地形因子等的影响。研究应用土壤流失通用方程(USLE. Universal Soil Loss Equation)和 InVEST 模型(式 5)估算研究区内的土壤保持量。

$$SC = R \times K \times LS \times (1 - C) \tag{5}$$

式中,SC 表示土壤保持量(t hm^{-2} a^{-1}),R 是降雨侵蚀因子(MJ mm hm^{-2} h^{-1} a^{-1}),K 是土壤可蚀性因子(t hm^2 h hm^{-2} MJ^{-1} mm^{-1}),LS 是地形因子,C 是植被覆盖度因子。

1.2.4　水源涵养功能

水源涵养服务功能对调节径流、改善水文状况、调节区域水循环等都有着关键作用,其受气候因素、下垫面植被、土壤因素等的影响[32]。本研究运用修正后的 InVEST 模型来估计水源涵养能力。

$$TQ = \sum_{i-1}^{j} (P_i - R_i - ET_i) \cdot A_i \tag{6}$$

式中, TQ 为总水源涵养量, P_i 为降水量,R_i为径流系数,ET_i为蒸散量,A_i为由土地覆盖定义的生态系统面积。

1.2.5　生态系统服务指数

研究通过建立生态服务综合指标来量化空间上每个栅格单元对维持国家和区域生态安全的相对重要性。首先,对每个栅格按提供特定服务功能价值量多少进行排序,并分为 4 个等级:极重要、重要、中等重要以及一般。以土壤保持为例,分级步骤为:(1)计算每个栅格单元的土壤保持量;(2)将所有栅格按土壤保持能力降序排列,计算跨栅格单元的土壤保持累计比例;(3)累计比例在 0—50%之间的为极重要区域,50%—75%累计比例的为重要区域,75%—90%为中等重要区域,90%—100%为一般区域,再将每项服务功能的重要性叠加,采用最大值方法,整合得到生态服务重要性综合指数[23]。

1.3　京津冀城市群扩张模拟预测方法

已有研究表明,模型是模拟与预测城市时空发展格局的有效方法,国内外很多学者通过构建模型的方法对不同类型的、单一的城市扩张演变过程进行了模拟与预测。其中,CLUE-S 作为空间显性模型,被国内外很多学者应用到城市土地覆盖/利用变化的模拟预测研究[33-37]。一方面,CLUE-S 模型可以从系统论角度很好的解释土地利用变化过程,另一方面,其简单且便于操作、方便用户整合各种自然和社会经济因素进行未来情景模拟。CLUE-S(the Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent)模型是荷兰瓦赫宁根大学

"土地利用变化和影响"研究小组在 CLUE 模型的基础上开发的[38]。其核心原理是基于 Logistic 回归的区位适宜性,并结合模拟不同土地覆盖类型随时空变化过程中的竞争关系和相互作用的经验性分析。本研究基于京津冀城市群 2000—2010 年的土地覆盖/利用格局的变化特征与规律,应用 CLUE-S 模型,模拟预测的 2020 年京津冀城市群的土地覆盖/利用变化特征,分析城市建设用地的扩张对重要生态服务功能的影响。其中,土地覆盖/利用特征的获取是基于 Landsat-5 TM 遥感影像,利用面向对象和回溯相结合的土地利用/覆被信息提取方法,结合高分辨率遥感数据和野外实地调查数据进行修正及验证,从而将京津冀城市群主要景观类型分为林地、草地、湿地、耕地、人工表面与其他用地 6 种。其中 2000 年及 2010 年的总体解译精度均超过 96%[39]。

2 研究结果与讨论

2.1 京津冀城市群生态服务功能重要性空间分布格局

综合生物多样性保护、防风固沙功能、土壤保持功能与水源涵养 4 种生态系统服务功能的空间重要性评估结果,至 2010 年,京津冀区域具有重要及以上等级的生态服务功能总面积达 72805.32km^2,占京津冀全区面积的近三分之一(图 2)。其中,具有重要及以上土壤保持和水源涵养服务功能的区域面积最大,分别占京津冀总区域面积的 18.79%和 19.56%(表 1),主要分布在北部燕山山脉到西部太行山脉的林业带。具有重要生物多样性保护的地区分布在承德、北京、保定、石家庄以及邢台,占区域总面积的 12.13%。具有重要的防风固沙功能的区域相较其他三类较少,仅占 1.63%,主要分布在张家口和北京的西北方向。另外,4 种生态服务功能的叠加分析显示(表 2),同时包含 2 种及以上重要生态服务功能的区域占京津冀城市群总区域面积的 14.68%,这些区域由于功能更为复合,需要重点保护。其中同时包含生物多样性、土壤保持和水源涵养 3 种服务功能的区域面积为 7312.32km^2,占总区域面积的 3.41%,主要分布在承德南部、北京西北部,以及石家庄、邢台的西部(图 3),而同时复合 4 种重要及以上生态服务功能的区域主要分散在承德与北京交接处。

表 1 京津冀城市群 2010 年生态服务功能现状

Table 1 The amounts of ecosystem services in BTH, 2010

生态服务功能类型 Ecosystem services	面积 Area/km^2	区域面积占比 Proportion/%
生物多样性 Provision of habitat for biodiversity	25991.64	12.13
防风固沙 Sand storm prevention	3491.64	1.63
土壤保持 Soil retention	40276.44	18.79
水源涵养 Water retention	41930.64	19.56
综合生态服务功能 Integrated ecosystem service	72805.32	33.97

表 2 京津冀城市群 2010 年综合生态服务功能分布

Table 2 The distribution of integrated ecosystem services in BTH, 2010

综合生态服务功能 Integrated Ecosystem services	类型 Types	面积/km^2 Area	区域面积占比/% Proportion	面积总和/km^2 Summation of areas
复合 1 种	bio	6190.92	2.89	41348.16
Include 1 ecosystem service	gusha	3038.76	1.42	
	sc	14705.64	6.86	
	water	17412.84	8.12	
复合 2 种	bio+gusha	104.04	0.05	24040.8
Include 2 ecosystem services	bio+sc	6789.96	3.17	
	gusha+sc	38.52	0.02	
	bio+water	5497.2	2.56	
	gusha+water	206.28	0.10	
	sc+water	11404.8	5.32	

续表

综合生态服务功能 Integrated Ecosystem services	类型 Types	面积/km² Area	区域面积占比/% Proportion	面积总和/km² Summation of areas
复合 3 种 Include 3 ecosystem services	bio+gusha+sc	6.84	0.00	7404.84
	bio+gusha+water	78.84	0.04	
	bio+sc+water	7312.32	3.41	
	gusha+sc+water	6.84	0.00	
复合 4 种 Include all the ecosystem services	bio+gusha+sc+water	11.52	0.01	11.52

bio:生物多样性 Biodiversity;gusha:防风固沙 Sand storm prevention;sc:土壤保持 Soil retention;water:水源涵养 Water retention

2.2 京津冀城市群扩张对生态系统服务功能的影响

2.2.1 京津冀城市群土地覆盖/利用变化特征

城市空间的快速发展使得原来以植被为主的自然景观逐渐被众多人工不透水建筑物所取代[40],而随着我国城市化进程的加快,作为城市化显著特征之一的人工不透水表面也在不断增加[41]。由解译自 Landsat-5 TM 遥感影像的土地覆被/利用分布特征(图 3)可知,2010 年京津冀人工表面总面积达 21333.96km^2,相较 2000 年增长 20.51%,低于全国水平的 27.24%。其中北京、天津增长比例分别为 35.66%和 48.83%,均高于全国平均水平。这也体现了京津冀区域发展不均衡、呈两极化等特点。

2.2.2 京津冀城市群土地覆盖/利用变化预测模拟

应用 CLUE-S 模型模拟京津冀城市群 2000—2010 年土地覆被格局的变化结果显示,六类土地覆盖类型的 ROC 值均超过了 0.70,其中林地、水体和耕地的 ROC 指数均在 0.90 左右,判别能力最好,Logistic 回归方程对各地类分布格局有较高的解释能力[42]。通过对比 2010 年模型模拟结果与 2010 年京津冀地类分布现状图计算得到的 Kappa 系数为 0.84,而通常 Kappa 系数的最低允许判别精度为 0.7[43-44],这说明通过 CLUE-S 模型对京津冀城市群景观格局的动态模拟有较好的模拟效果。Logistic 回归结果表明,京津冀城市群人工表面的增长主要受自然影响因素和社会经济要素的双重影响。人工表面更易在平坦、地势较低的位置分布,同时,在靠近铁路和高速路的位置分布概率较高,同时结合人口、灯光指数等要素分析可看出,人工表面的分布概率与人类活动总体呈现正相关[39]。

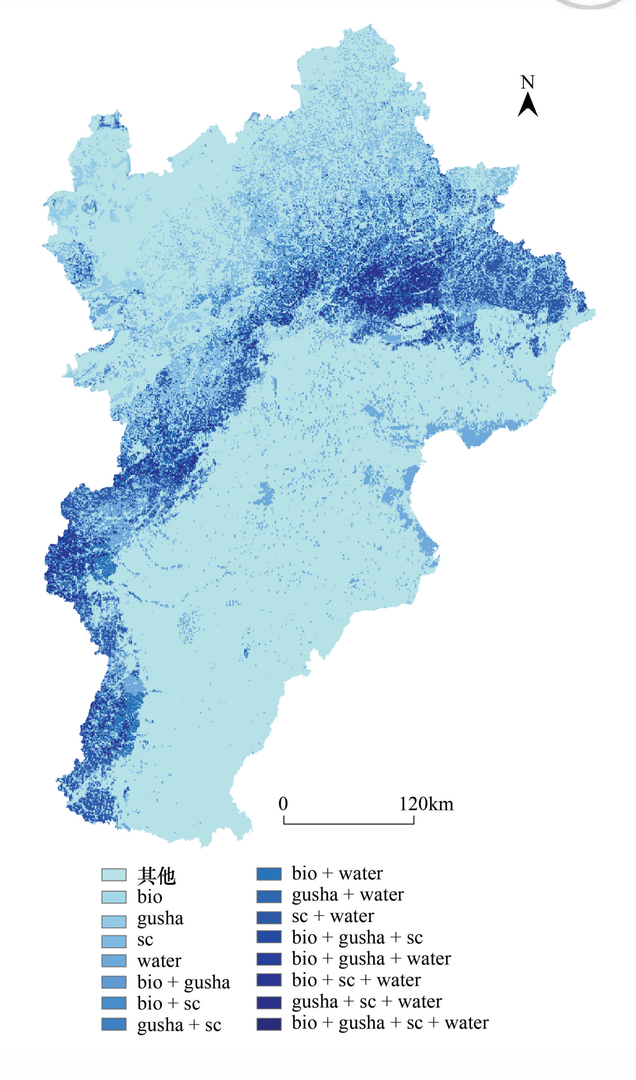


图 2　2010 年综合生态系统服务功能的空间分布

Fig.2　Distribution of integrated ecosystem services in BTH, 2010

bio:生物多样性 Biodiversity; gusha:防风固沙 Sand storm prevention; sc:土壤保持 Soil retention; water:水源涵养 Water retention

由于某时段景观格局的变化机制与距其最近时段的景观格局变化机制关系最为密切,故而假设 2010—2020 年期间影响土地覆被格局的驱动因素与 2000—2010 年相似,结合土地需求与各类景观的历史转移规则,利用 CLUE-S 模型模拟预测京津冀城市群基于历史演变条件下的 2020 年土地覆被空间格局,如图 4 所示。

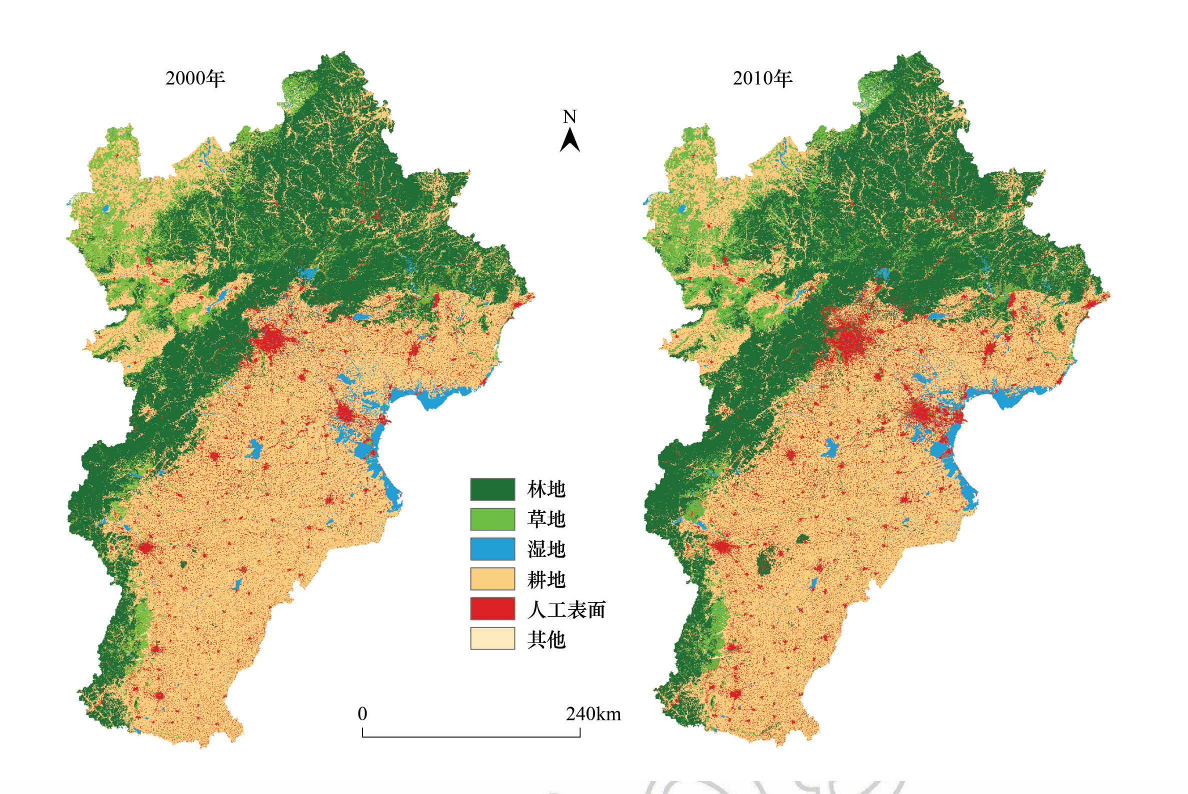


图 3 京津冀土地覆盖/利用现状图

Fig.3 Land cover/use pattern in BTH

可以看出,2020 年相较 2010 年新增人工表面 3630.24km^2,其中有 76.28%来源于对耕地的侵占,其次有 15.75%来源于林地和草地,7.00%来源于水体。从空间分布上看,人工表面的增长主要发生在、北京、天津以及河北的唐山和石家庄,不同区域、不同城市的新增人工表面的数量与来源并不相同,对重要及以上生态服务功能的侵占程度也有较大区别。

2.2.3 京津冀城市群未来扩张对区域生态服务功能的影响

土地利用方式及结构变化改变了生物生境和资源的空间分布,对生态系统的生态过程和生态系统服务造成影响[45]。人工表面变化作为区域扩张的直接表现形式,其不合理扩张将加速生态系统服务功能的丧失。本研究通过叠加分析,量化区域及城市尺度上人工表面变化对区域综合生态服务功能分布现状的侵占或影响。

(1) 区域尺度

从京津冀城市群整个区域看,2010—2020 年,将有 1/6 的新增人工表面发生在具有重要及以上等级的生态服务功能区域,面积约为 677.16km^2(表 3)。其中,对单一重要服务功能的侵占面积最大,为589.32km^2,主要分布在北京、天津以及唐山这些发展速度较快的城市;同时侵占两种重要服务功能的面积为84.24km^2,主要分

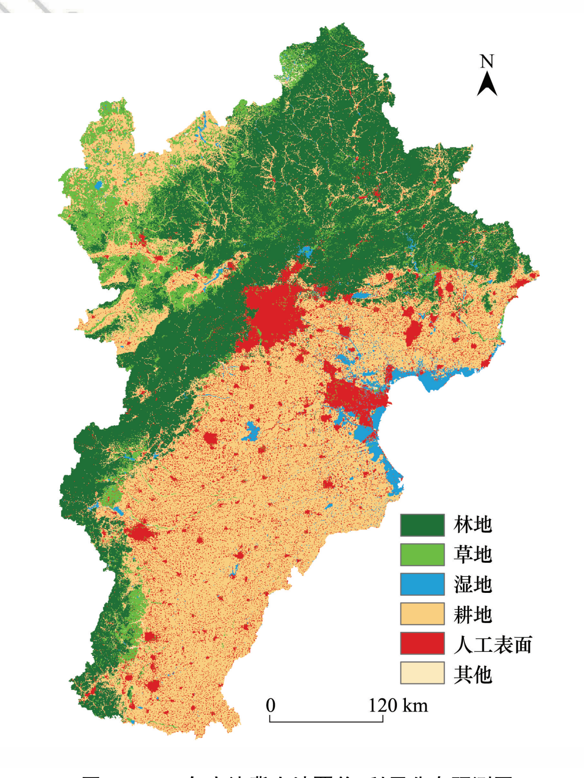


图 4 2020 年京津冀土地覆盖/利用分布预测图

Fig.4 Simulated land cover/use patterns in BTH, 2020

表 3　2020 年京津冀城市扩张对综合生态系统服务功能的侵占面积

Table 3　Integrated ecosystem services areas occupied by urban expansion in BTH, 2020

被侵占的综合生态服务功能 Occupied integrated ecosystem services	类型 Types	面积/km^2 Area	面积总和/km^2 Summation of areas
复合 1 种	bio	32.40	589.32
Include 1 ecosystem service	gusha	230.04	
	sc	7.20	
	water	319.68	
复合 2 种	bio+gusha	4.68	84.24
Include 2 ecosystem services	bio+sc	6.12	
	bio+water	10.80	
	gusha+water	55.80	
	sc+water	6.84	
复合 3 种	bio+gusha+water	2.52	3.60
Include 3 ecosystem services	bio+sc+water	1.08	

bio:生物多样性 Biodiversity;gusha:防风固沙 Sand storm prevention;sc:土壤保持 Soil retention;water:水源涵养 Water retention

布在北京、承德以及唐山(图 5);新增人工表面对同时包含 3 种重要生态服务功能的区域的侵占主要集中发生在北京的昌平、顺义、怀柔及密云一带,尽管侵占总面积不大,只有 3.6km^2,但由于这部分区域功能复合,极为重要,需要重点保护,限制开发。总体上,2020 年京津冀城市群的扩张主要侵占的生态服务功能为防风固沙及水源涵养。

(2)城市尺度

对比不同城市的扩张对生态服务功能的影响(表 4),至 2020 年,北京、天津、唐山对生态服务功能的侵占最为强烈。其中,北京共侵占重要生态服务功能487.80 km^2,占总侵占面积的 71.70%,被侵占的主要生态服务功能为防风固沙功能及水源涵养功能,而这势必会进一步加剧北京水资源短缺以及沙暴灾害频发的生态环境问题,对北京市生态安全格局产生不利影响。为此,北京市未来土地规划中,应着重保护西北方向的昌平、密云、延庆等地的森林植被资源以及顺义、平谷、通州等地的水源涵养功能,限制开发。天津共侵占重要生态服务功能 69.84km^2,被侵占的主要生态服务功能为水源涵养功能;河北共侵占重要生态服务功能 122.76km^2,被侵占的主要生态服务功能为水源涵养和生物多样性保护,发生侵占的城市主要是唐山以及承德,共侵占综合生态服务功能 46.80km^2和 18.36km^2。秦皇岛和承德虽然被侵占的总面积较整个区域而言并不大,但是被侵占的地区多包含两种以上的重要生态服务功能,其中承德城市扩张过程所侵占的综合生态服务功能中有 1/3 复合了两种及以上重要生态服务功能,其城市化过程中势必会对局地生态安全格局产生严重威胁。

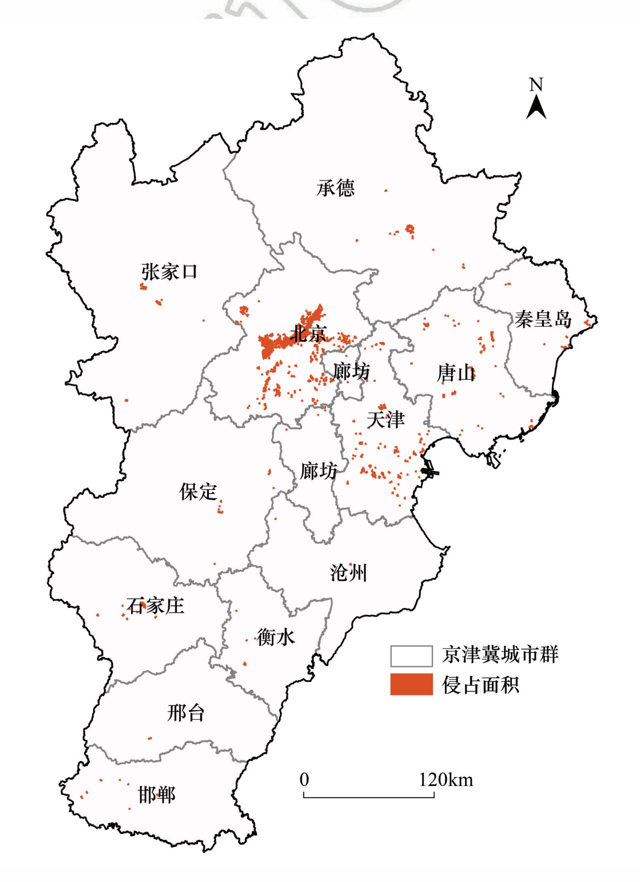


图 5　2020 年京津冀被侵占的综合生态系统服务功能的空间分布

Fig.5　Distribution of occupied integrated ecosystem services in BTH, 2020

表 4 2020 年京津冀各城市综合生态服务功能的侵占情况

Table 4 The occupation condition of integrated ecosystem services in 13 cities of BTH, 2020

城市 Cities	一类综合生态服务功能被侵占面积/km² The areas of occupied 1 type integrated ecosystem service				复合两类综合生态服务功能被侵占面积/km² The areas of occupied 2 types integrated ecosystem services					复合三类生态服务功能被侵占面积/km² The areas of occupied 3 types integrated ecosystem services		侵占生态服务功能的总面积/km² Summation of areas
	bio	gusha	sc	water	bio+gusha	bio+sc	bio+water	gusha+water	sc+water	bio+gusha+water	bio+sc+water	
北京	13.68	216.00	1.44	183.96	4.68	0.72	6.48	55.44	1.80	2.52	1.08	487.80
唐山	0.72	0	1.8	37.80	0	0.36	1.08	0	2.16	2.52	0.36	46.80
秦皇岛	5.40	0	0.36	2.52	0	0	1.44	0	1.08	0	0	10.80
承德	9.36	0	1.44	1.44	0	5.04	0.36	0.36	0	0	0.36	18.36
张家口	0	14.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.36	14.40
保定	1.08	0	0	5.04	0	0	0.36	0	0	0	0	6.48
廊坊	0	0	0	3.60	0	0	0	0	0	0	0	3.60
沧州	0	0	0	1.80	0	0	0	0	0	0	0	1.80
石家庄	0.36	0	0	9.36	0	0	1.08	0	0.72	0	0	11.52
衡水	1.80	0	0	1.08	0	0	0	0	0	0	0	2.88
邢台	0	0	0	1.44	0	0	0	0	0	0	0	1.44
邯郸	0	0	1.44	2.88	0	0	0	0	0.36	0	0	4.68
天津	0	0	0.72	68.40	0	0	0	0	0.72	0	0	69.84

bio:生物多样性 Biodiversity;gusha:防风固沙 Sand storm prevention;sc:土壤保持 Soil retention;water:水源涵养 Water retention

3 结论

本文针对京津冀生态安全格局现状,应用 CLUE-S 模型模拟方法,定量分析了京津冀城市群未来城市扩张对区域重要生态服务功能的影响,主要结论如下:

(1)2010 年京津冀区域重要及以上的生态系统服务功能占总区域面积的三分之一左右,空间分布不均衡,且呈现多种服务功能在空间上相互叠加、复合的特点,同时具有两种及以上重要生态服务功能的区域占京津冀城市群总区域面积的 14.68%,需要着重保护。

(2)近年来,京津冀城市群扩张速度较快,2010 年人工表面总面积相较 2000 年增长 20.51%,低于全国水平的 27.24%。但北京、天津的扩张速度远高于全国平均水平,体现了京津冀区域发展不均衡,呈两极化的特点。

(3)利用 CLUE-S 模型可以较好地模拟预测京津冀未来土地覆盖变化。基于当前的扩张机制,预测 2020 年京津冀城市群新增的人工表面将侵占 677.16km^2综合生态系统服务功能的地区,占新增人工表面总面积的六分之一。主要被侵占的生态服务功能类型为防风固沙及水源涵养。北京、天津、唐山对生态服务功能的侵占最为强烈,不同城市扩张对生态服务功能侵占的类型与程度存在较大差异。

(4)将生态安全格局保障纳入京津冀未来土地利用规划及区域发展规划具有必要性及迫切性。综合考虑重要生态服务功能对未来城市扩张的限制作用,才可以更科学合理地实现对京津冀城市群生态环境的保护,调控并优化城市扩张方向和范围,指导区域未来健康有序发展。同时,区域内不同城市的扩张对生态安全格局有不同强度的影响,而京津冀区域协同一体化发展的实施必然会有助于减轻北京、天津、唐山等城市在快速发展过程中所面临的生态环境问题,缓解城市扩张对重点城市的生态胁迫效应,有助于区域整体可持续发展。

参考文献(References):

[1] 陆大道. 京津冀城市群功能定位及协同发展. 地理科学进展, 2015, 34(3): 265-270.
[2] 张小曳, 孙俊英, 王亚强, 李卫军, 张蔷, 王炜罡, 权建农, 曹国良, 王继志, 杨元琴, 张养梅. 我国雾-霾成因及其治理的思考. 科学通报, 2013, 58(13): 1178-1187.
[3] 封志明, 刘登伟. 京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力. 自然资源学报, 2006, 21(5): 689-699.
[4] Tan M H, Li X B, Xie H, Lu C H. Urban land expansion and arable land loss in China—a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. Land Use Policy, 2005, 22(3): 187-196.
[5] 周文华, 王如松. 城市生态安全评价方法研究——以北京市为例. 生态学杂志, 2005, 24(7): 848-852.
[6] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 李春波. 北京市生态安全格局及城市增长预景. 生态学报, 2009, 29(3): 1189-1204.
[7] 王晓峰, 吕一河, 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全. 自然杂志, 2012, 34(5): 273-276.
[8] 文一惠, 刘桂环, 田至美. 生态系统服务研究综述. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2010, 31(3): 64-69.
[9] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.
[10] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展. 生态学报, 2009, 29(11): 6183-6188.
[11] 桓曼曼. 生态系统服务功能及其价值综述. 生态经济, 2001, (12): 41-43.
[12] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
[13] 谢高地, 张钇锂, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
[14] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 刘松. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究. 生态学报, 2002, 22(5): 783-786.
[15] 马程, 李双成, 刘金龙, 高阳, 王阳. 基于 SOFM 网络的京津冀地区生态系统服务分区. 地理科学进展, 2013, 32(9): 1383-1393.
[16] 把增强, 王连芳. 京津冀生态环境建设: 现状、问题与应对. 石家庄铁道大学学报: 社会科学版, 2015, 9(4): 1-5.
[17] 夏青, 马志尊. 京津冀水土保持生态建设探讨. 中国水利, 2014, (14): 41-42.
[18] 鄂竟平. 搞好海河流域水土保持工作维护京津及周边地区生态安全. 中国水土保持, 2004, (12): 4-5.
[19] 李正涛. 京津冀地区沙尘活动及其对城市大气环境的影响[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2013.
[20] Holdren J P, Ehrlich P R. Human population and the global environment. American Scientist, 1974, 62(3): 282-292.
[21] Ehrlich P R, Ehrlich A H. Extinction: the Causes and Consequences of the Disappearance of Species. New York: Ballantine, 1981.

[22] 闵庆文，刘伟玮，谢高地，孙雪萍，李娜. 首都生态圈及其自然生态状况. 资源科学，2015，37(8)：1504-1512.
[23] Ouyang Z Y，Zheng H，Xiao Y，Polasky S，Liu J G，Xu W H，Wang Q，Zhang L，Xiao Y，Rao E M，Jiang L，Lu F，Wang X K，Yang G B，Gong S H，Wu B F，Zeng Y，Yang W，Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. Science，2016，352(6292)：1455-1459.
[24] 欧阳志云，王桥，郑华，张峰，侯鹏. 2014. 全国生态环境十年变化(2000-2010年)遥感调查评估. 中国科学院院刊，2014，29(4)：462-466.
[25] 欧阳志云，张路，吴炳方，李晓松，徐卫华，肖燚，郑华. 基于遥感技术的全国生态系统分类体系. 生态学报，2015，35(2)：119-226.
[26] Loreau M，Naeem S，Inchausti P，Bengtsson J，Grime J P，Hector A，Hooper D U，Huston M A，Raffaelli D，Schmid B，Tilman D，Wardle D A. Biodiversity and ecosystem functioning：current knowledge and future challenges. Science，2001，294(5543)：804-808.
[27] Cardinale B J，Srivastava D S，Duffy J E，Wright J P，Downing A L，Sankaran M，Jouseau C. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. Nature，2006，443(7114)：989-992.
[28] Hector A，Bagchi R. Biodiversity and ecosystem multifunctionality. Nature，2007，448(7150)：188-190.
[29] Hooper D U，Chapin III F S，Ewel J J，Hector A，Inchausti P，Lavorel S，Lawton J H，Lodge D M，Loreau M，Naeem S，Schmid B，Setälä H，Symstad A J，Vandermeer J，Wardle D A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning：a consensus of current knowledge. Ecological Monographs，2005，75(1)：3-35.
[30] 杨阳，刘秉儒. 宁夏荒漠草原不同群落生物多样性与生物量关系及影响因子分析. 草业学报，2015，24(10)：48-57.
[31] 巩国丽，刘纪远，邵全琴. 草地覆盖度变化对生态系统防风固沙服务的影响分析——以内蒙古典型草原区为例. 地球信息科学学报，2014，16(3)：426-434.
[32] 陈姗姗，刘康，包玉斌，陈海. 商洛市水源涵养服务功能空间格局与影响因素. 地理科学，2016，36(10)：1546-1554.
[33] 张永民，赵士洞，Verburg P H. CLUE-S模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用. 自然资源学报，2003，18(3)：310-318.
[34] Hu Y C，Zheng Y M，Zheng X Q. Simulation of land-use scenarios for Beijing using CLUE-S and Markov composite models. Chinese Geographical Science，2013，23(1)：92-100.
[35] Xu L Y，Li Z X，Song H M，Yin H. Land-use planning for urban sprawl based on the CLUE-S Model：a case study of Guangzhou，China. Entropy，2013，15(9)：3490-3506.
[36] 冯仕超，高小红，顾娟，亢健，郭丽峰，吴国良，邹婵. 基于CLUE-S模型的湟水流域土地利用空间分布模拟. 生态学报，2013，33(3)：985-997.
[37] 韩会然，杨成凤，宋金平. 北京市土地利用空间格局演化模拟及预测. 地理科学进展，2015，34(8)：976-986.
[38] Verburg P H，Soepboer W，Veldkamp A，Limpiada R，Espaldon V，Mastura S S A. Modeling the spatial dynamics of regional land use：the CLUE-S model. Environmental Management，2002，30(3)：391-405.
[39] 刘菁华，李伟峰，周伟奇，韩立建，钱雨果，郑晓欣. 京津冀城市群景观格局变化机制与预测研究. 生态学报，2017，37(16)，doi：10.5846/stxb201605220981.
[40] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析. 生态学报，2009，29(5)：2456-2462.
[41] 任金华，吴绍华，周生路，林晨. 城市不透水面遥感研究进展. 国土资源遥感，2012，24(4)：8-15.
[42] Pontius R G Jr，Schneider L C. Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed，Massachusetts，USA. Agriculture，Ecosystems & Environment，2001，85(1/3)：239-248.
[43] Janssen L L F，Van Der Wel F J M. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data：a review. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing，1994，60(4)：419-426.
[44] Pontius R G Jr. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing，2000，66(8)：1011-1016.
[45] 王军，顿耀龙. 土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述. 长江流域资源与环境，2015，24(5)：798-808.